

Nuevos cultivares de caña de azúcar para iniciar zafra en el ingenio Ofelina de Panamá

Alberto N González Marrero^{1*}, Héctor Jorge Suárez¹, Antonio Menéndez Sierra¹, Antonio Vera Méndez¹

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera a CUJAE, km 1. Boyeros. La Habana, Cuba. CP 19390.

*Autor para correspondencia e-mail: alberto.gonzalez@inica.azcuba.cu

RESUMEN

La producción eficiente en la industria azucarera requiere del uso de cultivares con elevados contenidos de sacarosa. El trabajo tuvo como objetivo caracterizar la respuesta agronómica de 70 nuevos cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) introducidos en etapa clonal de selección y período inicial de la zafra azucarera en el Ingenio Ofelina de la Compañía Azucarera La Estrella S.A (CALESA), de la República de Panamá. Se evaluaron los caracteres Brix refractométrico, número de tallos m⁻¹, t caña ha⁻¹, incidencia agentes nocivos, floración, grosor y altura del tallo. Se empleó un diseño de Bloques al azar con tres repeticiones. Se realizaron análisis de varianzas de efectos aleatorios para estimar los componentes genético y ambiental, fijos y para establecer las diferencias entre cultivares. Con los individuos seleccionados se realizó un análisis de conglomerados. Se comprobó la diferencia entre los grupos formados con otro análisis de varianzas de efectos fijos y la prueba de Tukey. También se estimaron heredabilidad, Coeficiente Genético de Variación (CGV) y error estándar para cada variable evaluada. Se demostró que la varianza genética fue superior a la del error, excepto en el diámetro, lo que ratifica la importancia del componente genético en esta etapa de selección. El CGV fue mayor para las variables del rendimiento agrícola en la selección de 2011 y en la de 2010, el Brix resultó comparable a la altura y superior al diámetro. Resultaron seleccionados 38 nuevos cultivares que fueron recomendados para la etapa final de selección.

Palabras clave: caracteres, genética, rendimiento, selección, variabilidad

New sugarcane cultivars to start harvesting in the Ofelina Panama sugarmill

ABSTRACT

Efficient production in the sugar industry requires the use of cultivars with high sucrose content. The objective of the work was to characterize the agronomic response of 70 new sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) introduced in the clonal stage of selection and initial period of the sugar harvest in the Ofelina sugarmill (La Estrella SA, CALESA, Republic of Panama). The characters evaluated were the refractometric brix, number of stems m⁻¹, t cane ha⁻¹, incidence of harmful agents, flowering, thickness and height of the stem. A randomized block design with three repetitions was used. Analysis of random effect variances was performed to estimate the genetic and environmental components, fixed and to establish the differences among cultivars. With the individuals selected, a cluster analysis was performed. The difference among the groups formed was verified with another analysis of variances of fixed effects and the Tukey test. Inheritance, Genetic Coefficient of Variation (CGV) and standard error for each variable evaluated were also estimated. It was shown that the genetic variance was greater than that of the error, except in the diameter, which confirms the importance of the genetic component at this stage of selection. The CGV was higher for agricultural performance variables in the 2011 and 2010 selection, the Brix was comparable to the height and higher than the diameter. It were selected 38 new cultivars that were recommended for the final stage of selection.

Keywords: characters, genetics, selection, variability, yield

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.), está caracterizada genéticamente como un organismo poliploide complejo con un alto número de cromosomas, con división celular normal, pero su meiosis es irregular. Su ciclo biológico, bien extendido, es superior a los 12 meses y tiene una base genética estrecha, la cual dificulta los trabajos de mejoramiento genético y selección de nuevos cultivares (Puchades *et al.*, 2011).

El mejoramiento genético de la caña de azúcar se realiza con el empleo de esquemas de selección, que constan de diversas etapas donde se maneja la variabilidad obtenida mediante los programas de hibridación (cruzamientos), biotecnología (inducción de mutaciones, transgénesis), además del intercambio internacional de cultivares o variedades, para aprovechar la variabilidad genética del cultivo. En Cuba y otros lugares se utilizan cuatro etapas básicas que son: lotes de posturas o de *seedlings* (primera etapa), lotes clonales (segunda etapa), estudios multiambientales de rendimientos (tercera etapa) y estudios extensivos de variedades (cuarta y última etapa), que facilitan la recomendación de las nuevas variedades a la producción comercial (Jorge *et al.*, 2011).

Uno de los principales objetivos de los programas de mejoramiento genético del cultivo es obtener variedades con altos rendimientos, mediante el incremento del contenido azucarero o de sacarosa y/o del rendimiento agrícola o de caña. El mejoramiento del contenido de azúcar es altamente atractivo, porque permite incrementar los ingresos con un aumento marginal en los costos de producción, cosecha, transporte y molienda (Jackson, 2005; Aitken *et al.*, 2006).

Los principales caracteres de selección de las nuevas variedades de caña de azúcar se resumen en: rendimiento azucarero o de sacarosa expresado por las variables Brix refractométrico, porcentaje de pol en caña y pureza, rendimiento agrícola o de caña ($t\ caña\ ha^{-1}$), expresado por las variables grosor y altura del tallo, número de tallos por área (también denominado población de tallos) y peso de los tallos, resistencia a agentes nocivos fundamentalmente a las enfermedades

roya común o marrón (*Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd.), carbón [*Ustilago scitaminea* Sydow = *Sporisorium scitamineum* (M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw.)], escaldadura foliar (*Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson) y Virus del mosaico de la caña de azúcar (virus del tipo *potyvirus*) y otras características agronómicas no deseadas en la producción comercial, como la floración o agüinamiento (Jorge *et al.*, 2011).

Estimaciones efectuadas en la industria azucarera australiana muestran que al mejorar el contenido de azúcar (sacarosa) se obtiene una rentabilidad 1.8 veces mayor que la lograda con el aumento del rendimiento de caña de azúcar. A pesar de esto y de la alta heredabilidad que presenta el carácter, ha existido un limitado progreso en su mejoramiento genético en los últimos 40 años (Jackson, 2005; Delgado, 2019).

En este sentido, el contenido de azúcar y sus variables relacionadas (Brix, porcentaje de pol y pureza), presentan una alta proporción de la varianza genética total bajo control genético aditivo. Además, las heredabilidades en sentido amplio y estrecho son altas (Delgado *et al.*, 2016; Jorge *et al.*, 2018a), lo que indica que la selección de progenitores con alto contenidos de azúcar debe ser la base para la obtención de progenies con esa característica y facilitar la selección de individuos con altos rendimientos al final del proceso (Jackson, 2005).

Un problema actual en el incremento de la producción azucarera mundial, está en que el rendimiento de sacarosa del cultivo al inicio de la cosecha (noviembre, diciembre y enero), presenta valores bajos, por lo que resulta conveniente disponer de cultivares con alto contenido y acumulación temprana de sacarosa para esta etapa (Jorge *et al.*, 2014; Delgado *et al.*, 2016; Jorge *et al.*, 2017). Ello facilita iniciar la cosecha más rápido, alargar su periodo, utilizar más eficientemente la infraestructura y el equipamiento de cosecha, transporte y molienda e incrementar la rentabilidad de la industria (Jackson y Morgan, 2003).

Los ingenios azucareros generalmente no realizan selecciones iniciales de grandes poblaciones de individuos (posturas o *seedlings*). Resulta más económico y productivo la compra o intercambio de nuevas

variedades de caña de azúcar procedentes de diferentes países con programas de mejoramiento genético establecidos, probarlas en sus condiciones edafoclimáticas y aprovechar con ello la variabilidad de origen geográfico presente en el cultivo y los efectos de la interacción genotipo x ambiente.

Esta es una práctica agrícola que se utiliza actualmente en la Compañía Azucarera La Estrella S.A (CALESA), que dispone del Ingenio Azucarero Ofelina en la República de Panamá, la cual está basada en las investigaciones de Skinner (1971), donde se demostró que no siempre las mejores variedades de un país se comportan favorablemente en otros, razón por la que es preciso probarlas en sus condiciones de cultivo y explotación comercial.

El trabajo tuvo como objetivo caracterizar la respuesta agronómica de 70 nuevos cultivares de caña de azúcar introducidos en etapa clonal de selección y período inicial de la zafra azucarera en el Ingenio Ofelina de la Compañía Azucarera La Estrella S.A (CALESA), de la República de Panamá. Los resultados permitirán recomendar los de mayor potencial agroproductivo para los estudios multiambientales de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y condiciones del experimento de campo

El trabajo se desarrolló en el Ingenio Azucarero Ofelina perteneciente a la Compañía Azucarera La Estrella S.A (CALESA), de la República de Panamá, el cual se localiza en la costa del Océano Pacífico a 240 km de la Ciudad de Panamá (capital del país), en el Municipio de Aguadulce en la Provincia de Coclé.

El campo escogido para la realización del ensayo, que se corresponde con una propagación clonal (Jorge *et al.*, 2011), fue el campo 999, de clase agrícola III (Cortegaza y Menéndez, 2010), donde se plantaron 70 nuevos cultivares o variedades introducidas en el ingenio, de ellos: 41 correspondientes a la selección del año 2010 procedentes de los programas de mejora genética de Barbados y Colombia y 29 correspondientes a la selección del año 2011, procedentes del programa de Barbados. Fueron plantados en el año 2014, evaluados en la cepa de caña planta en 2015 y

en la de primer retoño con 12 meses de plantada en diciembre de 2016. Los resultados de la cosecha de primer retoño son los más importantes en el proceso de selección de la caña de azúcar. El experimento se desarrolló en condiciones comerciales de cultivo, similares a las establecidas para las plantaciones de la compañía.

Material vegetal evaluado y controles de campo

Los cultivares evaluados procedentes del Programa de Mejora de Barbados fueron: selección del año 2010 (B8061, B00009, B0120, B0141, B01196, B01218, B01222, B01347, B011221, BJ7504, BR9423, BR9505, BR00001, BR00010, BR03003, BR041001, BR042001, BR042004, BR042005, BR042203, BT89247, D7811, D90154, D9399, D94376, D96261, DB51362, DB59661, DB70172, DB79327 y DB9526), selección del año 2011 (B99187, B001250, B001306, B01424, B011071, B011312, B04184, B04781, B040120, B041291, B05005, B05012, B05021, B07111, BJ9379, BJ9765, BR01145, BR042004, BR042007, BR05003, BR05004, BT65152, BT88133, BT891646, BT901519, BT901944, DB79174, DB97120 y DB97255) y los evaluados procedentes del programa de mejora de Colombia fueron: selección del año 2010 (CC84-75, CC85-92, CC93-4181, CC93-7510, CC97-7170, CC97-7565, CC98-72, CC00-3079, CC01-678 y CC01-1228).

Se utilizaron como controles de comparación comerciales o controles de campo, el cultivar B74125, de madurez temprana y de alto contenido azucarero en la empresa y BT7742, principal cultivar con la mayor área agrícola.

Caracteres de selección de los nuevos cultivares evaluados

Los caracteres evaluados para la selección de los cultivares estudiados fueron: Brix refractométrico (expresado en porcentaje de sólidos solubles), diámetro y altura (cm), población (número de tallos/m) y rendimiento agrícola (t caña ha⁻¹).

El diseño empleado fue de Bloque al azar con tres repeticiones y el área de las parcelas experimentales fue de 3.2 m², correspondiente al lote clonal (Jorge *et al.*, 2011). Para estimar el diámetro, la altura y el Brix en cada parcela fueron elegidos al azar 10 tallos, mientras que

la población se valoró con el conteo total de los tallos en cada una de las parcelas del experimento.

También fue evaluada la floración, donde se excluyeron los individuos que presentaron más de un 25% de tallos agüinados y la presencia de enfermedades que sirvió como criterio discriminatorio (presencia de: roya marrón o común, carbón, escaldadura foliar y *Virus del Mosaico de la Caña de Azúcar*).

La producción de caña o rendimiento agrícola, fue estimada por la fórmula referida por Martins y Landell (1995).

Tratamiento y análisis estadístico de la base de datos experimentales

Se realizaron análisis de varianza de efectos aleatorios de clasificación simple para estimar los componentes de varianza de los caracteres evaluados y conocer su variabilidad. Para ello, se empleó del modelo de Cochran y Cox (1965).

$$Y_{ij} = \mu + G_i + e_{ij}$$

Donde:

μ . Media general

Y_{ij} . Es la observación j del genotipo i

e_{ij} . Error asociado a la j-ésima observación sobre el i-ésimo genotipo

Fueron calculados los estimados de heredabilidad en sentido amplio (h^2e), a partir de los componentes de varianza (Hogarth, 1968; Milligan *et al.*, 1990).

Se obtuvo el error estándar aproximado (Anderson y Bancroft, 1952; Becker, 1984) y el Coeficiente Genético de Variación (CGV) (Falconer, 1970).

Además, se realizaron análisis de varianza de efectos fijos para conocer la existencia de diferencias significativas entre los cultivares evaluados en todas las variables objeto de estudio y cuando se encontraron dichas diferencias estadísticas, entonces se procedió a realizar un análisis de comparación múltiple de medias, mediante la Prueba de Tukey al 1% de probabilidad del error.

Teniendo en cuenta los resultados se formaron grupos con los cultivares seleccionados de

cada año de selección, mediante un análisis de reagrupamiento o conglomerado (*Cluster analysis*), usando las variables Brix refractométrico de campo y rendimiento agrícola (t caña ha^{-1}). Se empleó el método del vecino más lejano con la distancia euclidiana con el propósito de agrupar los cultivares seleccionados por la respuesta agroproductiva. Este procedimiento permitió conocer la similitud y/o diferencias estadísticas entre estos grupos de cultivares, las cuales fueron ratificadas con otro análisis de varianzas de efectos fijos para cada carácter utilizado en su formación (Brix y t caña ha^{-1}), de forma independiente en ambas selecciones (2010 y 2011) y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 1% de probabilidad del error. Todo el procesamiento estadístico de la base de datos agrícola experimental, se realizó con el empleo del paquete estadístico Statgraphics-plus-5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La varianza genética en todos los caracteres de selección fue superior a la varianza del error, excepto en el diámetro de los tallos (Tabla 1, Tabla 2), lo que sugiere la importancia de realizar la selección a inicios de zafra, por el predominio de una mayor variabilidad, principalmente para el Brix. Esto facilita discriminar mejor los cultivares por su contenido azucarero en esta etapa clonal, aspecto que coincide con lo informado por Silva *et al.* (2011) y Jorge *et al.* (2018b). La varianza del error forma parte de la varianza ambiental (Jorge *et al.*, 2017) y los caracteres componentes del rendimiento agrícola normalmente son más influenciados por el ambiente (Parvizi, 2013), sin embargo en estos estudios, solo el grosor mostró esta tendencia.

Los estimados de heredabilidad sentido amplio presentaron valores altos, similares a los obtenidos por Milligan *et al.* (2003), en estudios clonales del cultivo de la caña de azúcar.

Todos los estimados de varianzas y la heredabilidad en los caracteres evaluados, excepto en el diámetro del tallo, resultaron precisos ($\sigma^2 \geq 2E.S$). Esto garantiza la confiabilidad de la selección tanto para el Brix refractométrico como para el rendimiento agrícola (Tabla 1, Tabla 2).

Tabla 1. Componentes de varianzas de los caracteres evaluados en la selección de cultivares de caña de azúcar del año 2010.

Componente de Varianza	Brix (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Población (No. tallos/m)
	$\sigma^2 \pm ES$	$\sigma^2 \pm ES$	$\sigma^2 \pm ES$	$\sigma^2 \pm ES$
σ^2g	3.21 \pm 0.72*	0.03 \pm 0.016	647.23 \pm 165.85*	14.48 \pm 3.37*
σ^2e	0.55 \pm 0.06*	0.21 \pm 0.016*	481.98 \pm 51.85*	4.16 \pm 0.44*
H ²	0.95 \pm 0.21*	0.67 \pm 0.36	0.82 \pm 0.21*	0.91 \pm 0.21*
CGV	10.20	6.00	10.20	28.70
Media	17.43	2.79	248.85	13.22

σ^2g : Varianza genética, σ^2e : Varianza del error H²: heredabilidad, CGV: Coeficiente Genético de Variación (%), E.S: Error estándar, *: estimados precisos $\sigma^2 \geq 2E.S$

Tabla 2. Componentes de varianzas de los caracteres evaluados en la selección de cultivares de caña de azúcar del año 2011.

Componente de Varianza	Brix (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Población (No. tallos/m)
	$\sigma^2 \pm ES$	$\sigma^2 \pm ES$	$\sigma^2 \pm ES$	$\sigma^2 \pm ES$
σ^2g	3.05 \pm 0.81*	0.07 \pm 0.02*	664.37 \pm 316.88*	23.14 \pm 6.18*
σ^2e	0.62 \pm 0.08*	0.12 \pm 0.01*	491.86 \pm 43.81*	4.97 \pm 0.62*
H ²	0.94 \pm 0.25*	0.74 \pm 0.21*	0.87 \pm 0.42*	0.93 \pm 0.25*
CGV	9.30	9.70	12.00	33.70
Media	18.85	2.70	222.84	14.29

σ^2g : Varianza genética, σ^2e : Varianza del error H²: heredabilidad, CGV: Coeficiente Genético de Variación (%); E.S: Error estándar, *: estimados precisos $\sigma^2 \geq 2E.S$

El Coeficiente Genético de Variación (CGV), fue mayor para los componentes del rendimiento agrícola en la selección del año 2011 y en la del año 2010 el Brix alcanzó resultados comparables con los de la altura y superiores a los del diámetro.

Aunque existe probado conocimiento para comprender que en el cultivo de la caña de azúcar la variabilidad principal es la genética, la cual proviene fundamentalmente del desarrollo de los programas de mejora genética y está sustentada en la hibridación y el cruzamiento, la variación entre ambas selecciones, puede ser debida a que los individuos introducidos en el año 2010, proceden de diferente origen geográfico (Barbados y Colombia). Ello constituye una fuente de variabilidad diferente, pues provienen de disímiles programas de mejoramiento genético, mientras que los del año 2011 tienen similar país de procedencia (Barbados), lo que coincide en este sentido con las afirmaciones de Skinner (1971).

Los nuevos cultivares evaluados en el ingenio provienen de programas de mejoramiento genético establecidos (Barbados y Colombia). Esta es una razón para que entre ellos exista suficiente variabilidad aprovechable para seleccionar individuos con fines comerciales, aunque algunos puedan compartir al menos un progenitor (medios hermanos), o los dos (hermanos completos), lo cual incrementa su grado de parentesco y la consanguinidad.

Los análisis de varianzas de efectos fijos (Tabla 3, Tabla 4), revelaron que existieron diferencias significativas para las cuatro variables estudiadas. Por ello, para que sea factible la selección de cultivares con fines comerciales, se debe establecer un compromiso entre los diferentes caracteres evaluados y obtener de esta forma individuos de alto potencial agroazucarero (Jorge, 1997; Santchurn et al., 2002; Parvizi, 2013).

Tabla 3. Análisis de varianzas para los caracteres evaluados en los cultivares de caña de azúcar de la selección del año 2010.

Fuentes de Variación	Brix (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Población (No. tallos/m)
	CM – Sig.	CM – Sig.	CM – Sig.	CM – Sig.
Cultivares	10.19 **	0.38 **	3918.11 **	47.59 **
Error	0.55	0.21	681.98	4.16
X ± E.S.	17.43 ± 0.43	2.79 ± 0.21	248.85 ± 11.68	13.22 ± 1.18

CM: Cuadrado medio. Sig. Significación. X. Media. E.S. Error estándar. ** Diferencias significativas al 1% según prueba de Tukey

Tabla 4. Análisis de varianzas para los caracteres evaluados en los cultivares de caña de azúcar de la selección del año 2011.

Fuentes de Variación	Brix (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Población (No. tallos/m)
	CM – Sig.	CM – Sig.	CM – Sig.	CM – Sig.
Cultivares	9.76 **	0.49 **	3813.7 **	74.41 **
Error	0.62	0.12	49.86	4.97
X ± E.S.	18.85 ± 0.45	2.70 ± 0.15	222.84 ± 9.92	14.29 ± 1.29

CM: Cuadrado medio. Sig. Significación. X. Media. E.S. Error estándar. ** Diferencias significativas al 1% según prueba de Tukey

Fueron seleccionados 25 nuevos cultivares introducidos en el ingenio de la selección del año 2010: B0141, B01196, B011221, B011222, BJ7504, BR9423, BR9505, BR00001, BR00009, BR00010, BR042004, BR042005, DB51362, DB70172, D7811, D94376, CC84-75, CC85-12, CC93-4181, CC93-7510, CC97-7565, CC98-72, CC00-3079, CC01-678 y CC01-1228 (Tabla 5).

Según la comparación múltiple de medias (Tukey al 1% de probabilidad del error), todas mostraron una respuesta similar o superior a los controles de comparación comercial o controles de campo B74125 y BT7742. Cuatro de ellos: BR00009, B0141, CC93-7510 y CC98-72, superaron a la variedad comercial más azucarera del ingenio (B74125), en el Brix refractométrico de campo.

Por otra parte, fueron seleccionados 13 nuevos cultivares introducidos en el ingenio de la selección del año 2011: B99187, B001250, B01424, B011312, B040120, B05012,

BJ9379, BR011071, BR042007, BR05004, BT88133, BT891646 y BT901519 (Tabla 6).

Atendiendo a los resultados de la comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey al 1% de probabilidad del error, de ellos, cuatro: B01424, B011312, BT891646 y BT901519, presentaron respuestas inferiores en el número de tallos/metro o población al control de comparación comercial o control de campo B74125, pero en el Brix refractométrico fueron superiores (Tabla 6).

Otro aspecto a resaltar es que los cultivares BT65152 y BR05003, fueron los de más alto Brix refractométrico dentro de los evaluados. Sin embargo, se excluyeron del grupo de individuos seleccionados. El primero por presentar afectaciones fitosanitarias (al igual que: B041291, B05021, BR042004, BT901244 y DB97120, cuya respuesta en este carácter también fue similar a la del control de comparación comercial o control de campo B74125) y el segundo más del 25% de floración o agüinamiento (BR05003).

Tabla 5. Resultados de la prueba de comparación múltiple de medias en la selección de cultivares de caña de azúcar del año 2010.

Cultivares	Brix (%)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Población (No. tallos/m)
BR00009	21.00 a	2.52 ab	246.0 abcdef	17.50 abcd
B 0141	21.00 a	2.84 ab	210.0 defg	14.50 abcdefgh
CC98-72	20.00 ab	2.62 ab	254.0 abcdef	11.00 defghi
CC93-7510	20.00 ab	2.80 ab	278.0 abc	13.50 bcdefgh
DB70172	19.67 abc	2.32 b	218.0 cdefg	12.00 cdefghi
BR9423	19.33 abcd	2.32 b	246.0 abcdef	12.00 cdefghi
BR00010	19.33 abcd	2.40 b	276.0 abcd	16.25 abcdef
BR042004	19.00 abcde	2.44 ab	262.0 abcdef	10.75 defghi
D7811	19.00 abcde	2.59 ab	272.0 abcd	21.00 a
BR042005	19.00 abcde	2.62 ab	268.0 abcde	8.50 ghij
CC01-678	19.00 abcde	2.78 ab	286.0 ab	15.00 abcdefg
DB51362	18.33 bcdef	2.52 ab	246.0 abcdef	12.00 cdefghi
BR00001	18.33 bcdef	2.58 ab	294.0 a	13.00 bcdefgh
B01222	18.33 bcdef	2.68 ab	248.0 abcdef	10.00 efghi
CC00-3079	18.33 bcdef	2.80 ab	246.0 abcdef	11.50 cdefghi
CC84-75	18.33 bcdef	2.88 ab	270.0 abcd	14.00 bcdefgh
CC97-7565	18.33 bcdef	2.98 ab	296.0 a	19.00 ab
D94376	18.25 bcdef	3.00 ab	230.0 abcdef	15.00 abcdefg
CC85-92	18.00 bcdefg	3.10 ab	202.0 efg	10.50 efghi
B011221	17.67 bcdefg	2.92 ab	252.0 abcdef	12.00 cdefghi
B01196	17.67 bcdefg	3.32 ab	268.0 abcdef	9.50 fghij
BR9505	17.67 bcdefg	3.60 a	256.0 abcdef	16.50 abcde
CC93-4181	17.67 bcdefg	3.08 ab	280.0 abc	18.00 abc
B74125(c)	17.33 cdefgh	3.12 ab	242.0 abcdef	16.50 abcde
BJ7504	17.33 cdefgh	2.76 ab	286.0 ab	21.00 a
CC01-1228	17.33 cdefgh	2.72 ab	264.0 abcdef	14.00 bcdefgh
DB79327	17.00 defghi	3.00 ab	230.0 abcdef	3.00 j
D8061	17.00 defghi	2.64 ab	154.0 g	6.00 ij
B01218	17.00 defghi	2.72 ab	198.0 fg	6.00 ij
BR042203	16.67 efghij	2.68 ab	256.0 abcdef	16.00 abcdef
B0120	16.33 fghijk	2.28 b	224.0 bcdef	13.50 bcdefgh
BT7742 (c)	16.00 fghijk	3.04 ab	248.0 abcdef	12.50 bcdefghi
BR041001	16.00 fghijk	2.60 ab	230.0 abcdef	12.50 bcdefghi
CC97-7170	16.00 fghijk	2.88 ab	280.0 abc	16.50 abcde
D96261	15.67 ghijk	2.92 ab	276.0 abcd	13.50 bcdefgh
DB59661	15.00 hijk	2.56 ab	222.0 bcdef	16.00 abcdef

c- Control de comparación comercial o control de campo. Medias con letras diferentes en cada columna difieren significativamente según la prueba de Tukey para $p < 0.01$

Tabla 6. Resultados de la prueba de comparación múltiple de medias en la selección de cultivares de caña de azúcar del año 2011.

	Brix		Diámetro		Longitud		Población
Cultivares	(%)		(cm)		(cm)		(No. tallos/m)
BT65152	22.00	a	2.28	ij	262.0	a	14.60 cdef
BR05003	21.67	ab	2.60	defghij	236.0	abcdef	20.71 a
BT891646	21.00	abc	2.92	bcdefg	210.0	cdefghi	8.60 ijkl
BJ9379	21.00	abc	2.66	cdefghij	248.0	ab	15.00 bcde
B001250	20.33	bcd	3.28	ab	230.0	abcdefg	19.00 ab
BT88133	20.33	bcd	2.44	fghij	228.0	abcdefg	19.20 ab
BR042007	20.00	bcd	2.72	cdefghij	188.0	hijkl	5.00 l
B011312	20.00	bcd	2.72	cdefghij	237.0	abcde	11.20 fghi
BR05004	20.00	bcd	2.48	fghij	203.0	fghijk	19.20 ab
BR01145	20.00	bcd	2.34	hij	173.0	jkl	13.40 defg
BJ9765	20.00	bcd	2.80	bcdefghi	238.0	abcd	14.60 cdef
B04184	19.67	bcde	2.24	j	199.0	ghijk	9.00 ijkl
B05005	19.67	bcde	2.30	ij	239.0	abcd	10.40 fghi
B011071	19.67	bcde	2.56	efghij	181.0	ijkl	6.00 k
BT901519	19.67	bcde	2.96	bcdef	214.0	cdefgh	10.00 ghij
B99187	19.33	bcde	2.76	cdefgij	260.0	a	18.32 abc
B05012	19.33	bcde	2.80	bcdefgh	208.0	defghi	12.60 efgh
B01424	18.67	defg	3.56	a	258.0	a	9.00 ijkl
B040120	18.67	defg	2.40	ghij	228.0	abcdefg	17.20 abcd
B05021	18.33	fg	2.26	j	234.0	abcdef	14.60 cdef
DB97120	18.00	ghi	3.18	abc	228.0	abcdef	17.20 abcd
BR042004	17.67	hi	2.58	efghij	256.0	a	12.60 efgh
B041291	17.67	hi	2.66	cdefghij	233.0	abcdef	20.00 a
BT90194	17.67	hi	2.60	defghij	220.0	bcdefgh	17.00 abcd
B74125 (c)	17.33	hij	3.12	abcd	242.0	abc	16.50 abcde
B04781	17.17	ij	2.76	cdefghij	254.0	a	19.20 ab
B001306	17.00	ij	2.58	efghij	228.0	abcdefg	18.57 abc
DB79174	16.17	jk	2.48	fghij	160.0	i	7.40 jkl
BT7742 (c)	16.00	jk	3.04	bcde	248.0	ab	20.00 a
DB97255	15.33	k	2.84	bcdefghij	204.0	efghij	9.20 hijk
B07111	15.00	k	2.76	cdefghij	172.0	kl	19.00 ab

c- Control de comparación experimental o control de campo. *Medias con letras diferentes en cada columna difieren significativamente según la prueba de Tukey para $p < 0.01$*

Atendiendo a lo anterior, los resultados indicaron que la selección de cultivares con características de alto contenido de azúcar y rendimiento es un paso necesario e importante en las condiciones ambientales donde estos serán introducidos. En este sentido, estudios con marcadores moleculares

que involucran el mapeo de QTLs (del inglés: *quantitative trait loci*), sugieren que el contenido de sacarosa es controlado por un alto número de genes, cada uno con efecto pequeño (Aitken *et al.*, 2006) y por tanto está influido por el fenómeno de la interacción genotipo x ambiente (Rodríguez, 2012;

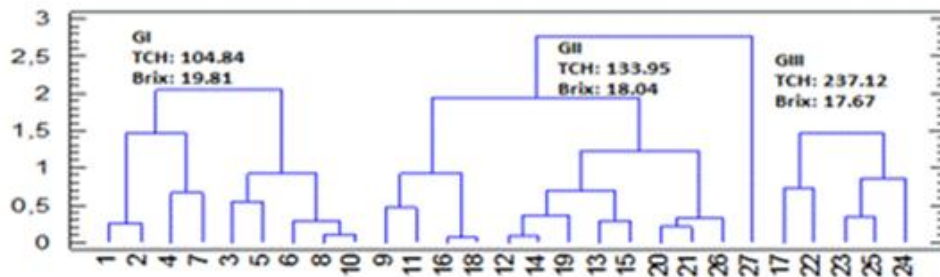
Delgado, 2019). Esto significa que hay una baja probabilidad de obtener progenies con la mejor combinación de alelos en un solo ciclo de cruzamientos y que la selección recurrente es la estrategia más adecuada para mejorar el contenido de sacarosa, razón por la cual los estudios multiambientales de rendimientos resultan efectivos en la selección de nuevos y superiores cultivares, porque permite acercar los ambientes de selección a los ambientes de cultivo (García, 2004; Jorge *et al.*, 2010; Rodríguez, 2012).

Los resultados mencionados son de importancia para la producción agroazucarera del ingenio a los que se debe dar continuidad con los 38 cultivares destacados en estudios multiambientales. Permitirán disponer de nuevos cultivares en el ingenio Ofelina con el propósito de elegir aquellos de adaptación específica para cada ambiente de producción, con mayor rendimiento de sacarosa en los períodos iniciales de la zafra azucarera.

En este sentido, reviste gran interés la replicación de los ensayos en tiempo (años y cepas) y espacio (sitios o localidades), para aprovechar eficientemente la interacción genotipo x ambiente, como lo señalaron Rodríguez *et al.* (2015).

Los resultados alcanzados son específicos de la localidad donde se desarrollaron los estudios experimentales de campo debido a la alta interacción genotipo x ambiente existente en caña de azúcar (Jorge, 2017; Rodríguez, 2012; Jorge *et al.*, 2018a). No obstante, su procedimiento metodológico puede ser aplicado en cualquier otro ingenio azucarero que desarrolle un esquema de selección de cultivares.

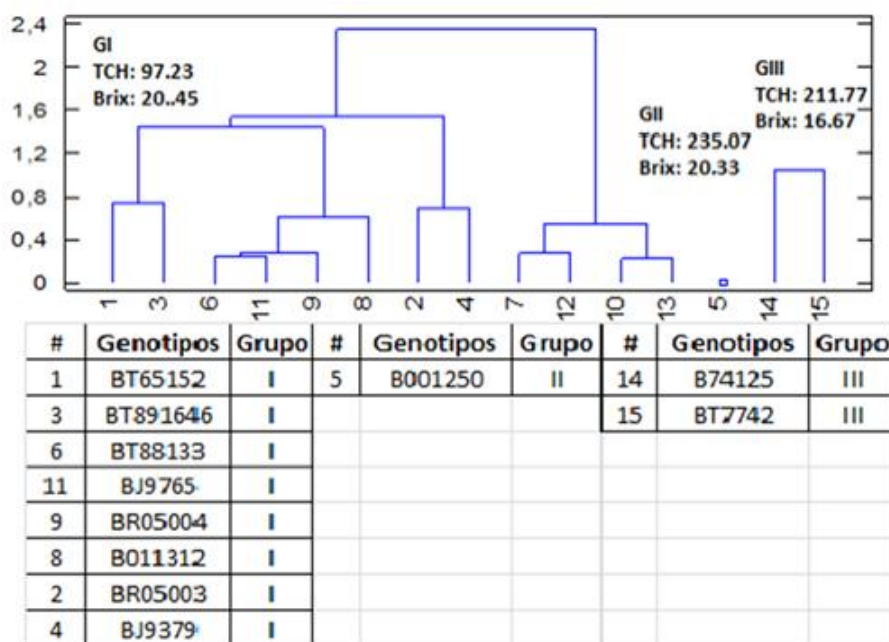
En las dos selecciones se formaron tres grupos de cultivares seleccionados (Figura 1, Figura 2). La respuesta del grupo I en ambos casos, se caracterizó por presentar los mayores valores de Brix refractométrico y los más bajos de rendimientos agrícolas ($t\ caña\ ha^{-1}$).



#	Genotipos	Grupo	#	Genotipos	Grupo	#	Genotipos	Grupo
1	BR00009	I	9	D7811	II	17	CC97-7565	III
2	B0141	I	11	CC01-678	II	22	BR9505	III
4	CC93-7510	I	16	CC84-75	II	23	CC93-4181	III
7	BR00010	I	18	D94376	II	25	BJ7504	III
3	CC98-72	I	12	DB51362	II	24	B74125	III
5	DB70172	I	14	B01222	II			
6	BR9423	I	19	CC85-92	II			
8	BR042004	I	13	BR00001	II			
10	BR042005	I	15	CC00-3079	II			
			20	B011221	II			
			21	B01196	II			
			26	CC01-1228	II			
			27	BT7742	II			

G. Grupo de cultivares, TCH. Toneladas de caña por hectáreas y Brix. Brix refractométrico (%)

Figura 1. Agrupamiento de los cultivares seleccionados sobre la base de las variables Brix refractométrico de campo y $t\ caña\ ha^{-1}$ en la selección del año 2010.



G. Grupo de cultivares, TCH. Toneladas de caña por hectáreas y Brix. Brix refractométrico (%)

Figura 2. Agrupamiento de los cultivares seleccionados sobre la base de las variables Brix refractométrico de campo y t caña ha⁻¹ en la selección del año 2011.

En la selección del año 2010, el grupo II estuvo compuesto por 12 nuevos cultivares y el control comercial o control de campo BT7742, el cual alcanzó resultados intermedios en las variables evaluadas.

En la respuesta del grupo III, se presentó la mayor producción de caña de azúcar y el Brix más bajo, este quedó integrado por cuatro nuevos cultivares introducidos: BJ7504, BR9505, CC93-4181 y CC97-7565 y el control comercial o control de campo B74125.

La selección de 2011, presentó el grupo II integrado por el cultivar B001250, que alcanzó el mayor rendimiento agrícola (t caña ha⁻¹) y Brix similar al del grupo I y del grupo III, constituido por los controles de comparación comercial o controles de campo B74125 y BT7742, con valores intermedios en las t caña ha⁻¹ y el Brix refractométrico más bajo.

Se ratificaron las diferencias significativas entre los grupos de cultivares seleccionados, lo que confirma que estuvieron bien definidos (Figura 3, Figura 4). Estos resultados evidenciaron la importancia de establecer compromisos en la selección entre los caracteres objeto de estudio, con el propósito

de no deprimir ninguno y elegir los mejores cultivares con fines comerciales (Jorge, 1997; Santchurn *et al.*, 2002; Parvizi, 2013).

En la selección del año 2010, el grupo III resultó significativamente superior con el mayor rendimiento agrícola (TCH), al grupo I y al grupo II, entre los cuales no hubo diferencias. En el Brix refractométrico de campo el grupo I fue superior significativamente al grupo II y al grupo III, entre los que tampoco hubo divergencias, para este carácter (Figura 3).

En la selección del año 2011, el grupo II y el grupo III superaron de forma significativa al grupo I en el rendimiento agrícola (TCH) y entre ellos no hubo diferencias. Sin embargo, en el Brix refractométrico de campo el grupo I y el grupo II, resultaron superiores significativamente al grupo III (Figura 4). Resultados similares se han obtenido cuando se ha empleado este análisis, pero con diferentes grupos de cultivares y en localidades distintas por otros autores que han investigado sobre el comportamiento y la selección de las nuevas variedades de la caña de azúcar (Jorge *et al.*, 2018a; Jorge *et al.*, 2018b).

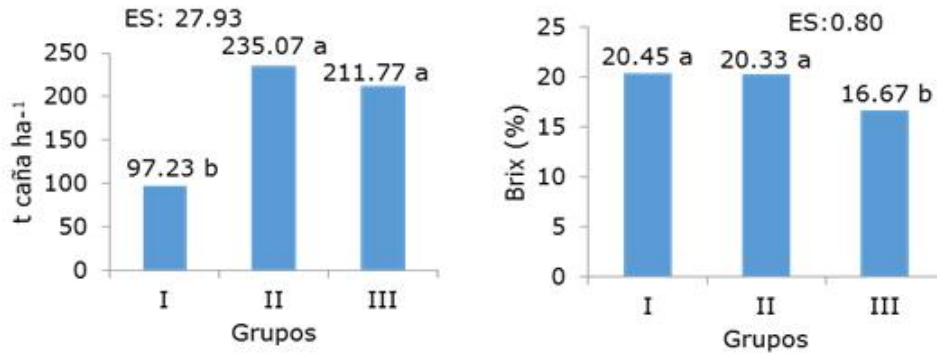


Figura 3. Rendimiento (toneladas de caña por hectárea) (TCH) y Brix refractométrico de campo en la selección de cultivares de caña de azúcar del año 2010. Letras diferentes sobre barras indican diferencias significativas entre los grupos de cultivares según la prueba de Tukey para $p < 0.05$. ES Error estándar.

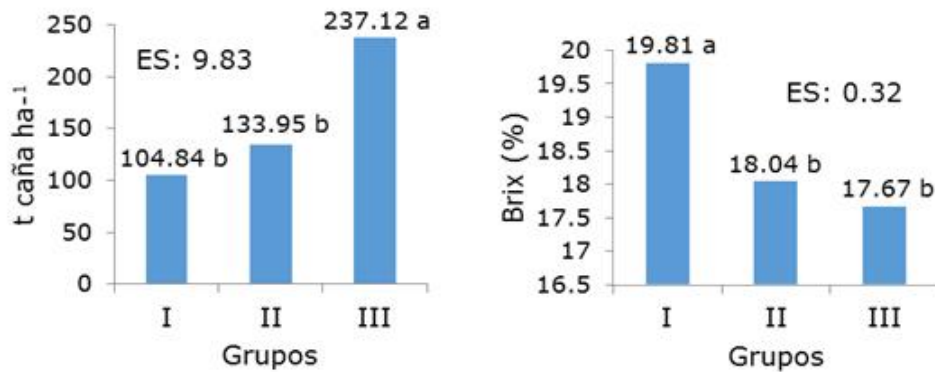


Figura 4. Rendimiento (toneladas de caña por hectárea) (TCH) y Brix refractométrico de campo en la selección de cultivares de caña de azúcar del año 2011. Letras diferentes sobre barras indican diferencias significativas entre los grupos de cultivares según la prueba de Tukey para $p < 0.05$. ES Error estándar.

CONCLUSIONES

A partir de la selección de cultivares de caña de azúcar introducidos en dos años en el ingenio Ofelina, se dispone de 38 nuevos cultivares seleccionados por el contenido de sacarosa para los períodos iniciales de la zafra azucarera. Sus respuestas agroproductivas son similares o superiores a los controles de comparación comercial o controles de campo B74125 y BT7742 en las variables estudiadas y se recomiendan para estudios multiambientales. Los estimados precisos de la varianza genética y la heredabilidad, excepto en el diámetro del tallo, garantizan la confiabilidad de la selección tanto por el Brix refractométrico como por el rendimiento agrícola.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.

REFERENCIAS

- Aitken KS, Jackson PA, McIntyre LC (2006) Genetic quantitative trait loci identified for sugar related traits in a sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivar x *Saccharum officinarum* population. *Theor Appl Genet* 112: 1306-1317
- Anderson RL, Bancroft L (1952) *Statistical Theory in Research*. Ed Mc Graw-Hill Book Co, New York
- Becker WA (1984) *Manual of Quantitative Genetics* 4th ed. Academic Enterprises, Washington; ISBN: 0-93199-00-9

- Cochran WG, Cox GM (1965) *Experimental Design*, Second Ed. John Wiley and Son Inc, New York
- Cortegaza PL, Menéndez A (2010) Clasificación de los suelos agrícolas del ingenio Ofelina Memorias de Investigaciones Volumen 1-3. Gerencia de Campo, Aguadulce Panamá
- Delgado I, Núñez D, Jorge H, Guillén S, Díaz FR, Gómez JR, Suarez O, Montes de Oca JL (2016) Evaluación de cultivares de caña de azúcar de madurez temprana, para el inicio de la zafra azucarera en suelos sialitizados no cálcicos. *Revista Centro Agrícola* 43(2): 5-13
- Delgado I (2019) Contribución al conocimiento científico y metodológico para la recomendación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Cuba Tesis de Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), La Habana, Cuba
- Falconer DS (1970) *Introducción a la Genética Cuantitativa*. CECSA, México
- García H (2004) Optimización del proceso de selección de variedades de caña de azúcar tolerantes al estrés por sequía y mal drenaje en la región central de Cuba. Tesis de opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba
- Hogarth DM (1968) A review of quantitative genetics in plant breeding with particular reference to sugar cane. *Journal of the Aust J Agric Res* 22: 93-182
- Jackson PA, Morgan TE (2003) Early stage selection for commercial cane sugar (CCS) in sugarcane clones: effects of time of sampling and irrigation. *Aust J Agric Res* 54: 389-396
- Jackson PA (2005) Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Field Crops Res* 92: 277-290
- Jorge H (1997) Estudio genético de los componentes agroazucareros en las etapas clonales del esquema de selección partiendo de Posturas Aviveradas de Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.). Tesis en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Agraria de la Habana, La Habana, Cuba
- Jorge H, Bernal N, Ibis J (2010) Principios y conceptos básicos para el manejo de variedades y semilla de caña de azúcar en la agroindustria azucarera cubana. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), La Habana
- Jorge H, Ibis J, Mesa JM, Bernal N (2011) Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). PUBLINICA, La Habana
- Jorge H, Delgado I, Vera A, Gómez JR, Díaz FR, Céspedes A, Pérez JC, Santos JC, Guillén S (2014) Caracterización de las familias de variedades acorde con los momentos de cosecha en dos localidades de la región central de Cuba. *Centro Agrícola* 41(2): 71-77
- Jorge H, Delgado I, González A, Vera A, Cornide MT, Cabrera L, Díaz FR, Gómez JR, Suárez O, Torres I, Valladares F, Cruz R, Céspedes A, Puchades Y (2017) Potencial azucarero de un grupo de cultivares de caña de azúcar en Cuba. *Revista ICIDCA* 51(2): 59-66
- Jorge H, Menéndez A, González A, Delgado I, Gómez JR (2018a) Evaluación de genotipos de caña de azúcar en diferentes ambientes en el ingenio Ofelina, República de Panamá. *Centro Agrícola* 45(1): 24-33
- Jorge H, Menéndez A, Atencio R, Delgado I (2018b) Selección de genotipos de caña de azúcar en áreas con estrés ambiental. *Centro Agrícola* 45(3): 66-72
- Martins ALM, Landell GAI (1995) Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana de açúcar utilizados no programa Cana IAC. Instituto Agronômico, Pindorama
- Milligan SB, Gravois KA, Bischoff KP, Martin FA (1990) Crop effects on broad-sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components. *Crop Sci* 30: 344-349
- Milligan SB, Balzarini M, White WH (2003) Broad-sense heritabilities, genetic correlations, and selection indices for sugarcane borer resistance and their relation to yield loss. *Crop Sci* 43: 1729-1735

- Parvizi M (2013) Bases Genéticas para la Selección de Poblaciones Clonales de la Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.) bajo diferentes condiciones ambientales de la provincia de Juzestán, Irán. Tesis de opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, INICA, La Habana, Cuba
- Puchades Y, Rodríguez R, Arteches J, Bernal N, Jorge H, Cornides MT (2011) Base Genética de los cultivares de caña de azúcar explotados comercialmente en Cuba entre 1965 y 2008. *Ciencias en su PC* 4: 71-87
- Rodríguez R (2012) Perfeccionamiento del Programa de Mejora genética de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico. Tesis en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Agraria de la Habana, La Habana, Cuba
- Rodríguez R, Puchades Y, Abiche W, Rill S, Jorge H (2015) Estudio del rendimiento y modelación del período de madurez en nuevos cultivares de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales* 36(4): 135-144
- Santchurn D, Ramduyal K, Rivet L, Mangurt H (2002) Handling large populations of sugar cane genotypes et early stages of selection in Mauritius. *Food and Agricultural Research Council Réduit, Mauritius*
- Skinner JC (1971) Selection in sugarcane, a review. *Proceedings International Society Sugarcane Technologists* 14: 149-162
- Silva E, Castillo F, Molina JD, Benítez I, Santacruz A, Castillo R (2011) Selección de progenitores, varianzas genéticas y heredabilidad para la acumulación temprana de sacarosa en caña de azúcar. *Rev Fitotecnia Mexicana* 34(2): 107-114
- Recibido: 02-03-2019
Aceptado: 15-05-2019
- Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> Está permitido su uso, distribución o reproducción citando la fuente original y autores.